

компонентов (натрия, сульфат-, хлорид-, нитрат-ионов) за 5 летний период наблюдения за составом вод родников. Отмеченные особенности свидетельствуют об удовлетворительном качестве вод родников и их использование в питьевых целях на регулярной основе не желательно.

Литература

1. Назаров А. Д. Родники г. Томска - распространение, состав, возможности использования и аквапаркового обустройства (краткие сведения по исторической части города) / А. Д. Назаров // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. — 2002. — Т. 305, вып. 8 : Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений. — [С. 236-256].
2. СанПиН 2.1.4.1175 – 02 Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901836057>.
3. СП 2.1.5.1059 – 01 Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901794517>.
4. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

ИЗУЧЕННОСТЬ ВЛИЯНИЯ ЦИКЛИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ СОСТОЯНИЯ СЕЗОННОМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ В СОЧЕТАНИИ С ОТТАИВАНИЕМ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Филимонов А.А.

Научный руководитель профессор Строкова Л.А.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Основной задачей при вскрытии многолетнемерзлых грунтов по трассе проектируемого трубопровода, является корректная оценка изменения геокриологических условий при техногенном воздействии, и выбор способа прокладки трубопровода, обоснованный как технически, так и экономически.

Подземный способ прокладки трубопровода заключается в монтаже трубопровода ниже планировочной отметки земли, в теле грунта. Преимущества подземной прокладки заключаются в возможности устройства трубопровода в сложнейших геологических условиях (подземные переходы, горизонтально-наклонное бурение), технологичности строительного процесса, низкую стоимость строительно-монтажных работ по сравнению с надземным и наземным способами.

Но также есть и ряд больших недостатков: непосредственное температурное воздействие на многолетнемерзлые грунты с последующими осадками грунтов, затруднительность наблюдения за состоянием трубопровода и проведения ремонтных работ, высокая аварийность и сложность расчета системы «грунт-трубопровод». Также к минусам можно отнести то, что для подземной прокладки, в связи с ее непосредственным контактом с грунтом на протяжении всей трассы, требуются максимально детальные инженерные изыскания.

Мерзлые грунты, как известно, отличаются от дисперсных немерзлых грунтов сцементированностью минеральных частиц грунтом и наличием криогенной структуры и текстуры. Это обуславливает фазовые переходы грунтовых воды в лед и обратно, что сопровождается сложными физико-химическими процессами. Промерзание и протаивание грунтов является термодинамическим процессом, протекающим в неоднородной капиллярно-пористой среде. Во время сезонного промерзания и протаивания происходит изменение температурного поля, в связи с чем, происходит преобразование не только льда, но и минерального, химического и органического состава скелета породы. Изменение агрегатного состояния и теплофизических характеристик среды происходит одновременно с массопереносом, вызванным миграцией влаги, что говорит о нелинейности процесса [4]. Задача о протекании данных процессов является одной из сложных задач математической физики.

Для решения данных задач существует значительное количество методов расчета теплового режима промерзающих-протаивающих грунтов.

Одной из наиболее простых является постановка задачи Стефана, или задачи о промерзании-протаивании пород с образованием границы раздела фаз [2]. В данной задаче рассматривается среда с возможностью образования единой фазовой границы – на тепловой изотерме с температурой фазового перехода грунта. При постановке задачи, среда имеет всего 2 зоны – мерзлую зону, с наличием воды в агрегатном состоянии льда, и талую, с наличием свободной и связанной воды в среде в жидком агрегатном состоянии. В общем случае, данная задача решается численно при помощи простейших программных комплексов.

Постановка задачи о промерзании-протаивании пород в спектре температур является усложненной задачей. Она позволяет учитывать фазовый переход связанной воды тонкодисперсных грунтов в спектре температур. Таким образом, при этой постановке, среда имеет 3 зоны – мерзлую, талую и промерзающую. Данная задача является более приближенной к реальному процессу, происходящему в среде, но в нем также, как и в задаче Стефана учитывается только кондуктивный теплоперенос.

Для полноценного учета процессов промерзания и оттаивания в тонкодисперсных грунтах, требуется учитывать не только кондуктивный перенос тепла, но и конвективный перенос, обусловленный наличием миграции и фильтрации влаги. При распределении тепловых полей, конвективный теплоперенос оказывает значительное влияние на смещение фазовых границ раздела. Поставленную задачу на данный момент можно моделировать следующими методами: для насыщенных грунтов процесс фильтрации моделируется на основе дифференциального уравнения Дарси, для ненасыщенных грунтов фильтрация описывается уравнением Ричардса или Бринкмана [3].

Перечисленные задачи описывают современное состояние физико-математического аппарата для решения задач тепломассопереноса, используемые при проектировании в условиях криолитозоны.

Изменения свойств грунтов при циклических процессах замораживания-оттаивания не привлекают широкого внимания исследователей, как например, исследования конкретных физических и механических свойств многолетнемерзлых грунтов. Важные исследования влияния циклического замораживания-оттаивания на различные свойства грунтов проводились Э. Чемберленом и А. Гоу, К. Эйгенбродом, Цараповым М.Н., Дж.-М. Конрадом, Е.П. Шушериной и рядом китайских ученых [5]. По результатам их отдельных исследований можно сделать некоторые выводы о влиянии циклических температурных воздействий на механические свойства грунтов: пористость плотных грунтов возрастает при замораживании-оттаивании, рыхлых грунтов – уменьшается; по мере увеличения циклов замораживания-оттаивания, увеличивается проницаемость оттаявших грунтов, в связи с образованием новых микротрещин при замораживании и больших пор при таянии льда; прочность мерзлых грунтов зависит от числа циклов замораживания-оттаивания; по мере увеличения циклов замораживания-оттаивания, возрастает сжимаемость мерзлых грунтов до 30%; удельное сцепление уменьшается при росте количества циклов замораживания-оттаивания; упругий модуль деформации зависит от степени предварительного уплотнения и числа циклов воздействия [1].

Отдельно хочется выделить, что результатам части исследований одних авторов противоречат результаты исследований других авторов, что может говорить только о том, что мерзлый грунт является сложной системой с множеством переменных, влияющих на конечный результат.

Еще в начале 50-ых годов 20 века профессором В.А. Кудрявцевым была создана классификация типов сезонного промерзания и протаивания горных пород по определяющим признакам: средней годовой температуре пород, годовой амплитуде температуры на их поверхности, влажности пород и составу пород. Данная классификация позволяет выявлять общие и региональные закономерности формирования температур пород и закономерности изменения мощности сезонноталых и сезонномерзлых грунтов, что дает возможность прогнозировать изменение условий и температур, вызванных как естественным путем, так и при техногенном воздействии [2].

Анализ нормативно-технической документации по проектированию подземных трубопроводов в криолитозоне показал, что в нормах регламентированы основные принципы проектирования системы «трубопровод-мерзлый грунт», позволяющие учитывать первостепенные негативные факторы – просадка при оттаивании ММГ, морозное пучение грунтов. При этом, в части норм приняты допущения, не учитывающие факторы изменения криогенного строения грунтов, миграции влаги, изменения поверхностных условий при циклических замерзаниях-оттаиваниях. Например, СП 36.13330 гласит, что трубопроводы при использовании их по принципу II необходимо рассчитывать на просадки и пучения. Данный пункт в большей степени относится к многолетнемерзлым грунтам, а не к деятельному слою, но все же просадка и пучение при II принципе будет учитывать эти же процессы в деятельном слое. При этом, при использовании грунтов основания по I принципу, дополнительного учета криогенных процессов не требуется, что означает, что многократными циклическими изменениями состояния грунтов, которые происходят в слое сезонного оттаивания в течение периода эксплуатации, можно пренебречь. Также, поскольку физические законы изменения свойств мерзлых грунтов до конца не изучены, для многих процессов математически не описаны законы их работы, данные изменения не могут быть регламентированы, но на мой взгляд, должны быть освещены в нормах и учтены поправочными коэффициентами.

В наше время технологический прогресс позволяет улучшить процесс проектирования путем использования различных специализированных программных комплексов для упрощения расчетных задач, основанных на определенных расчетных методах. Применение данных комплексов основано на общеизвестных численных методиках и должно отвечать установленным нормативным требованиям. Применение программных комплексов позволяет получать большие объемы данных, проводить экспериментальные расчеты, изучать закономерности, получать более детальные расчеты, ранее недоступные из-за сложности проведения ручного расчета. При этом, на данный момент, расчеты системы «трубопровод-мерзлый грунт» в большинстве случаев проводится поэтапно с решением отдельных задач – тепломассоперенос, расчет деформаций, прочность и устойчивость трубопровода. Но при выявленной сложности данной системы, лучшим решением является учет изменений системы в едином комплексе, решая одновременно все взаимовлияющие задачи.

Подводя промежуточный итог, современное состояние изученности влияния циклических изменений состояния деятельного слоя и нормативной базы, объединяющей в себе многолетний опыт проектирования и изучения криолитозоны, является достаточной для проведения большинства проектных работ на площадных объектах, линейных сооружениях, устроенных как надземно, так и подземно. При этом, большинство исследований показывают, что при циклических процессах промерзания-оттаивания происходят значительные изменения физико-химических свойств грунтов, что, безусловно, должно быть полноценно изучено, описано языком математической физики и нормировано. Для таких сложных систем, как «многолетнемерзлый грунт - подземный трубопровод» данные изменения несут большую важность и должны быть учтены для увеличения безопасности эксплуатации сооружения.

Литература

1. Болдырев, Г.Г. Влияние циклического замораживания-оттаивания на прочность и деформируемость мерзлых грунтов: состояние вопроса [Текст] / Г. Г. Болдырев, И. Х. Идрисов // Инженерная геология – 2017. - №3 – С. 6 - 17.
2. Основы геофизиологии [Текст] : учебное пособие. 2-ое изд. / Тюменский государственный университет ; сост. А. А. Вакулин . – Тюмень : Изд-во Тюменского государственного университета, 2011. - 220 с.
3. Официальный сайт программного продукта Frost 3D компании ООО «НТЦ «СИММЭЙКЕРС» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.frost3d.ru/>.
4. Специальная инженерная геология [Текст]: учебник / В.П. Ананьев, А.Д. Потапов, Н.А. Филькин. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 263 с.

5. Chamberlain, E. Effect of freezing and thawing on the permeability and structure of soils [Text] / E. Chamberlain, A. Gow // Engineering Geology. – 1979. – V. 2. – P. 73-92

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДИФИКАЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО ГРУНТА ДОБАВЛЕНИЕМ СТИМУЛЯТОРОВ МИКРОБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Цагурия Г.М.

Научный руководитель - доцент Софинская О.А.

Казанский (Приволжский) Федеральный университет, г.Казань, Россия

Массивы торфов и сапропелей осложняют инженерно-геологические условия, резко изменяя свои физико-механические свойства во влажном состоянии [1, 2]. Способом избежать сложностей на пути эксплуатации таких грунтов, является их экскавация. Однако данный способ не рационален, например, при залегании линзы грунта на глубине и при индивидуальном строительстве на ограниченной площади.

Цель представленной работы: изменение свойств торфов и сапропели путем стимуляции деятельности аборигенных гетеротрофных организмов. Торф — это органический грунт гидроморфного генезиса, содержащий в своем составе по массе 50% и более органического вещества (ГОСТ 25100-2020). Сапропели представляют собой органо-минеральный или органический осадок пресноводных застойных водоемов, с массой органического вещества более 10%, текучепластичной или текучей консистенции (ГОСТ 25100-2020).

Объектами исследования являлись образцы из Зеленодольского района Республики Татарстан: низинный торф - из устьевой части памятника природы Ильинская балка, верховой торф - из Долгого болота, на территории Раифского участка Волжско-Камского государственного биосферного заповедника, сапропель - из донных слоев безымянного озера, расположенного на 300 м к югу от Ильинской балки, на глубине 10-25 см и 30-55 см.

Для стимуляции гетеротрофов использовалась питательная среда R2A, содержащая вытяжку торфа, в которой при температуре +8°C в течение 1 месяца замачивалась губка-носитель. Сконструированы герметичные установки, состоящие из следующих узлов: патрон, бронзовая сетка (ячейка 0,04 мм), образец (100 x 30 мм), губка-носитель микрофлоры, сверху и снизу - система патрубков для подачи воды и сбора фильтрата. Образец полностью насыщался влагой за счет постоянной подкачки сверху по замкнутому циклу. Установки экспонировались при температуре +14±2°C. До и после эксперимента грунт испытывали на полную влагоемкость, верхний и нижний пределы пластичности (ГОСТ 5180-2015), абсолютную проницаемость (установка Wille Geotechnik, Германия), краевой угол смачивания (КУС, метод прикреплённого пузырька), содержание органического углерода (ГОСТ 26213-91). Исходно исследуемые грунты находились в текучем состоянии, а нижний слой сапропели – в текучепластичном. При сохранении полного влагонасыщения после опыта показатель текучести торфов увеличился, а сапропели перешли в пластичное состояние. Снизилось содержание органического вещества: в несколько раз – у сапропели и на несколько процентов - у торфов.

Все исследуемые грунты проявляли гидрофобность (КУС достигал на отдельных участках 140°), которая частично снималась после опыта. Таким образом, стимуляция аборигенной микрофлоры привела к существенному изменению свойств исследованных органогенных грунтов, что может быть полезно для разработки новых методов инженерной мелиорации грунтов.

Литература

1. Базин Е.Т., Гамаюнов Н.И., Лиштван И.И., Терентьев А.А. «Физика и химия торфа». – Москва, 1989.
2. Министерство Транспортного Строительства «Методические Указания По Инженерно-Геологическому Обследованию Болот При Изысканиях Автомобильных И Железных Дорог» Государственный Всесоюзный Дорожный Научно-Исследовательский институт (СОЮЗДОРНИИ). – Москва, 1973

ОЦЕНКА АНТРОПОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ В ВОДОСБОРЕ РЕКИ ГАНЬЦЗЯН (КНР, ПРОВИНЦИЯ ЦЗЯНСИ)

Чжоу Д.

Научный руководитель - профессор Савичев О.Г.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Подземные воды играют важнейшую роль в хозяйственно-питьевом, техническом и сельскохозяйственном водоснабжении и формировании общих ресурсов пресных вод. Следовательно, рациональное использование и охрана ресурсов подземных вод способствуют устойчивому социально-экономическому развитию многих регионов мира, включая водосбор озера Поянху – одного из самых больших в Китае пресных озер. Это – крупнейший природный регулятор водного стока в бассейне реки Янцзы, а также место обитания редких перелетных птиц. Однако в последние десятилетия, в связи с быстрым социально-экономическим развитием, ростом населения, объемов воотведения и забора подземных вод, использованием химических удобрений и пестицидов, состояние поверхностных и подземных вод на этой территории ухудшилось [1, 2].

Объектом исследования данной статьи является бассейн реки Ганьцзян в провинции Цзянси, Китай, которая является крупнейшей рекой в бассейне озера Поянху. Таким образом, оценка воздействия хозяйственной деятельности